



Universidade Federal da Paraíba
Centro de Tecnologia
Departamento de Engenharia de Produção
Curso de Graduação em Engenharia de Produção Mecânica

DANILO ALMEIDA DE LIMA

**APLICAÇÃO DO MODELO DO CAIXEIRO-VIAJANTE DE
PROGRAMAÇÃO LINEAR NO ROTEAMENTO DE VEÍCULOS DE
UMA INDÚSTRIA GRÁFICA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

JOÃO PESSOA
2018

DANILO ALMEIDA DE LIMA

**APLICAÇÃO DO MODELO DO CAIXEIRO-VIAJANTE DE
PROGRAMAÇÃO LINEAR NO ROTEAMENTO DE VEÍCULOS DE
UMA INDÚSTRIA GRÁFICA**

Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia de Produção Mecânica do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, apresentado como requisito à obtenção do título de Bacharel.

Orientador: Prof. Dr. Jonas Alves de Paiva

JOÃO PESSOA

2018

L732a

Lima, Danilo Almeida de.

Aplicação do modelo do caixeiro-viajante de programação linear no roteamento de veículos de uma indústria gráfica / Danilo Almeida de Lima. -- João Pessoa: UFPB, 2018.

65f. il.:

Orientador Prof. Dr. Jonas Alves de Paiva.

Monografia (Curso de Engenharia de Produção Mecânica)
Campus I – UFPB / Universidade Federal da Paraíba.

1. Pesquisa Operacional. 2. Roteamento de veículos. 3.
Logística. I. Título

UFPB/CT

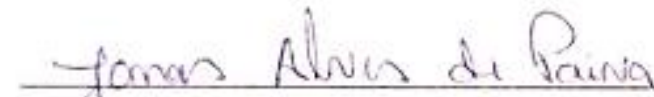
CDU: 685.5(043)

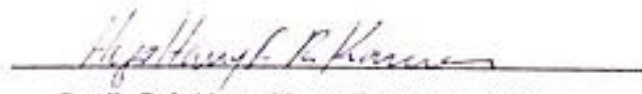
DANILO ALMEIDA DE LIMA

APLICAÇÃO DO MODELO DO CAIXEIRO-VIAJANTE DE
PROGRAMAÇÃO LINEAR NO ROTEAMENTO DE VEÍCULOS DE
UMA INDÚSTRIA GRÁFICA

Data: 07/11/18

BANCA EXAMINADORA


Prof.º Dr.º Jonas Alves de Paiva
Orientador


Prof.º Dr.º Hugo Harry Frederico R Kramer
Examinador Interno


Prof. Msc Alessandra Berenguer de Moraes
Examinador Interno

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, a Jesus Cristo por ter me sustentado firme durante toda a jornada de curso, me fazendo crescer como profissional e como pessoa.

Aos meus pais, que sempre fizeram o possível para que eu pudesse chegar até esse momento.

Ao professor Jonas Alves Paiva, por ter me dado todo o apoio e tranquilidade necessários para condução deste trabalho.

A Emanuel Henrique por ter sido o principal amigo durante toda essa a jornada de curso na universidade.

A Damião Ferreira, Vinicius Lima e Cláudio Anselmo por serem fundamentais em momentos em que mais precisei.

A meu gerente de produção, Yanes Travassos, por me mostrar a prática do que é ser um engenheiro e por todo o valioso conhecimento que tem me passado.

A Jakilene Ipólito por toda a confiança depositada nos momentos mais difíceis do curso.

A Diego Silva por ser o melhor amigo que alguém poderia ter.

A todos os professores da UFPB que me passaram conhecimentos fundamentais a cada período.

A todos que torceram e acreditaram em mim.

RESUMO

Em um cenário no qual há uma pulverização da demanda de produtos, aliada a uma necessidade de resposta rápida aos pedidos dos clientes, a atividade logística de distribuição tem se mostrado de fundamental importância, pois as empresas precisam fornecer os produtos a seus clientes de forma precisa, com baixo custo e percorrendo as menores distâncias possíveis para atender estas demandas. De acordo com o desenho deste cenário, o presente trabalho tem por objetivo desenvolver um modelo matemático de pesquisa operacional especificamente para as atividades de roteamento dos veículos de distribuição para uma gráfica, e que atenda às necessidades do setor de logística relativo ao tempo e custo das entregas, visando percorrer as menores distâncias possíveis considerando-se todos os pontos de entrega. Para tanto durante o trabalho elaborou-se um modelo que posteriormente foi adaptado a um *software* de forma que o setor no seu trabalho, sempre promova resultados satisfatórios diante das necessidades diárias. O modelo e a ferramenta desenvolvida se mostraram eficientes após se fazer alguns testes de comparação das rotas estimadas, com as que eram definidas pelo setor de logística manualmente. O modelo matemático, desenvolvido no Excel e utilizando a biblioteca UFFLP, apresentou resultado satisfatório uma vez que retorna resultados com rotas mínimas entre os pontos de entregas que são informados com uma grande velocidade de resposta.

Palavras-chave: Pesquisa Operacional, roteamento de veículos, logística.

ABSTRACT

Nowadays there is a scenario in which a spurt in demand for products is necessary, coupled with a need to respond rapidly to customer orders, distribution logistics activity has proven to be of fundamental importance as companies need to deliver products to their customers accurately, with low cost and traveling the smallest distances possible to meet these demands. According to the design of this scenario, the present work aims to develop a mathematical model of operational research specifically for the routing activities of the distribution vehicles for a graphics, and that meets the needs of the logistics sector regarding the time and cost of deliveries, in order to cover the lowest possible distances considering all points of delivery. For this purpose, during the work of developing a model, it was elaborated a model that later was adapted to a software so that the sector in its work, always promotes satisfactory results before the daily necessities. The model and tool developed were efficient after some tests of comparison of the estimated routes, with those that were defined by the logistics sector manually. The mathematical model, developed in Excel and using the UFFLP library, presented a satisfactory result since it returns results with minimum routes between the points of deliveries that are informed with a great speed of response.

Keywords: Operational Research, Linear Programming, Logistics.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Papel transformado por região (em toneladas).....	14
Tabela 2: Papel transformado por estados do Nordeste (em toneladas).....	15

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Industria gráfica brasileira – Investimentos em US\$ milhões.....	14
Figura 2: Visualização de nós e arcos de uma rede	22
Figura 3: Arcos de um grafo.....	24
Figura 4: Tela de controle de rotas.....	35
Figura 5: visão geral da trajetória 1	37
Figura 6: visão concentrada da trajetória 1	38
Figura 7: visão geral da trajetória 2	39
Figura 8: visão geral da trajetória 3	40
Figura 9: visão geral da trajetória 4	40
Figura 10: visão concentrada da trajetória 4	41
Figura 11: visão geral da trajetória 5	42
Figura 12: Interface inicial do software	45
Figura 13: Interface com as latitudes e longitudes dos destinos inseridos	46
Figura 14: Calculo automático das distancias no API.....	47
Figura 15: Software com as distancias entre os pontos inseridas	48
Figura 16: Forma alternativa de visualizar os resultados.....	48
Figura 17: Imagem com a sequência a ser seguida	49
Figura 18: Imagem com o resultado da sequência a ser seguida no mapa	50
Figura 19: Visão concentrada da rota mínima 1	51
Figura 20: Visão geral da rota mínima 2.....	52
Figura 21: Visão geral da rota mínima 3.....	53
Figura 22: Visão geral da rota mínima 4.....	53
Figura 23: Visão geral da rota mínima 5.....	54

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

- PL** Programação Linear
- PO** Pesquisa Operacional
- SIG** Sistema de Informações Gerenciais
- PCP** Planejamento de Controle da Produção

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.2	Justificativa.....	13
1.3	Objetivos	16
1.3.1	Objetivo Geral	16
1.3.2	Objetivos Específicos.....	16
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1	Pesquisa Operacional.....	17
2.2	Programação Linear	20
2.3	Modelos de Otimização em Rede	22
2.4	O Caixeiro-viajante	23
2.5	Transporte Logístico	26
3	METODOLOGIA.....	29
3.1	Detalhamento da fase 1: Análise do setor atual da empresa	30
3.2	Detalhamento da fase 2: Coleta amostral de rotas utilizadas	30
3.3	Detalhamento da fase 3: Definir o modelo de programação linear adequado	31
3.4	Detalhamento da fase 4: Estruturar o modelo.....	31
3.5	Detalhamento da fase 5: Testar o modelo	31
3.6	Detalhamento da fase 6: Desenvolver um software que formule os trajetos	32
3.7	Detalhamento da fase 7: Comparar os trajetos realizados com os obtidos pela programação.....	32
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	33
4.1	Fase 1: Análise do setor atual da empresa.....	33
4.2	Fase 2: Coleta amostral de rotas utilizadas	36
4.2.1	Trajetória 1	37
4.2.2	Trajetória 2.....	38
4.2.3	Trajetória 3.....	39
4.2.4	Trajetória 4.....	40
4.2.5	Trajetória 5.....	41
4.3	Fase 3: Definir o modelo de programação linear adequado.....	42
4.4	Fase 4: Estruturar o modelo	43
4.5	Fase 5: Testar o modelo	44
4.6	Fase 6: Desenvolver um <i>software</i> que formule os trajetos.....	45
4.7	Fase 7: Comparar os trajetos realizados com os obtidos pela programação	51
4.7.1	Comparação com o trajeto 1	51
4.7.2	Comparação com o trajeto 2	52

4.7.3	Comparação com o trajeto 3	52
4.7.4	Comparação com o trajeto 4	53
4.7.5	Comparação com o trajeto 5	54
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	55
6	REFERENCIAL TEÓRICO	57
7	ANEXO A – CÓDIGO VBA PARA ROTEMANETO.....	59

1 INTRODUÇÃO

Um dos altos custos atrelados aos produtos atualmente é o custo logístico de transporte, o qual agrega custo ao produto, mas não necessariamente valor. Portanto, é de vital importância que as empresas procurem adotar medidas de melhorias que visem reduzir este custo para que se possa aumentar a lucratividade.

A indústria gráfica é uma atividade industrial cuja tecnologia possui máquinas de alta velocidade de produção, o que permite atender diversos pedidos de diversos clientes num curto espaço de tempo. Após a finalização da produção dos pedidos existe a atividade de distribuição que é diretamente afetada pelo custo logístico.

A gráfica estudada possui mais de 30 anos no mercado paraibano e atua praticamente em todo o nordeste brasileiro. O seu foco no ramo da indústria gráfica é no varejo, produtos promocionais e personalizados.

Sua área produtiva é de mais de 4.000 m² e está localizada na cidade de João Pessoa, cujo parque fabril possui um alto investimento em máquinas, o qual dispõe de novas tecnologias que atendem aos mais diversos tipos de clientes que requisitam seus serviços. A inovação das máquinas e equipamentos do chão-de-fábrica é uma atividade rotineira da empresa, a qual é comprovada pela constante compra de máquinas mais modernas e troca das máquinas mais obsoletas tecnologicamente.

A empresa possui um Sistema de Informações Gerenciais (SIG) comprado, que auxilia relativamente a gestão relativamente dos dados contábeis, financeiros, produtivos e organizacionais da empresa, porém, mesmo com este sistema sendo aplicado, ainda é fácil verificar que ele não atende a todas as necessidades de informações gerenciais requisitadas. Logo, o gerente geral, juntamente com os supervisores da produção desenvolveram um outro SIG interno para complementar as necessidades requisitadas por alguns setores.

Um dos setores mais beneficiados pelo SIG interno foi o setor de Logística, pois o mesmo é capaz de coletar dados diretamente do banco de dados do SIG comprado, unificando informações importantes.

A empresa estudada também possui um setor de logística que está em pleno processo de estruturação, mas que ainda desconhece e não aplica alguns conceitos de pesquisa operacional para estudo de suas atividades. Este setor se beneficia do fato da empresa possuir rastreadores em seus veículos, utilizando a ferramenta PALM LINE, que apresenta dados em tempo real da localização dos veículos. Esse sistema também é utilizado para controlar a velocidade desenvolvida pelos motoristas nas suas rotas.

A empresa atende pedidos das cidades de todo o estado, portanto, a atividade de distribuição agrega bastante custo ao produto, devendo ser fruto de estudo e melhoria. Por se tratar de uma empresa de médio porte, ela é afetada pela competitividade das outras empresas do ramo, tanto das de pequeno porte, quanto de grande porte, por estar “no meio” dos dois cenários e dividir clientes com estes nichos de mercado.

Devido a isso, a logística deve se preocupar tanto com entregas de pequeno, quanto de grande porte. Logo, além da produção de grandes tiragens para grandes clientes, a empresa também faz montagens de vários materiais de menores valor agregado, com o objetivo de minimizar os custos e atender uma maior parcela de clientes que necessitam de baixo preço em seus produtos.

Em 2014 a Gráfica decidiu mudar os rumos no qual a empresa se encontrava, implementando novos métodos de organização e controle sobre seus processos, inclusive implementando a ferramenta da Gestão da Qualidade 8S.

A gerência de produção da empresa está aberta à utilização de um novo sistema de tomada de decisões quanto à entrega de seus produtos para o qual foram sugeridas algumas formas de como se agregar o mesmo à forma atual com a qual o setor atua e, até, a agregação ao SIG já utilizado pela empresa.

Devido à falta de conhecimento sobre a importância da Pesquisa Operacional (PO) na empresa, aliado à grande dependência do conhecimento dos motoristas em suas rotas (no qual as entregas dependem, exclusivamente, do conhecimento humano em relação às rotas mais curtas) é que se pretende desenvolver um programa de computador que utilize PO em sua base para auxiliar na programação de entrega dos produtos.

Apesar de possuir frota própria e rastreável, ainda existe a grande dependência da experiência de seus motoristas quanto à rota a ser seguida e a sequência das entregas, isso quando não há sequência prioritária pré-determinada do setor de planejamento e controle da produção (PCP). Sendo assim, atualmente, não se pode medir quantitativamente se as rotas executadas pelos motoristas estão seguindo a menor distância no menor tempo, para se manter competitivo com os fortes concorrentes neste quesito.

Outro fator que incomoda os vendedores e o setor de PCP, é o fato de que constantemente a empresa não consegue entregar todos os pedidos produzidos com a frota atual, necessitando, portanto, da contratação de transportes terceirizados para realizar a tarefa, algo que eleva o valor do centro de custo do setor e, muitas vezes, não é orçado para o cliente o valor, gerando prejuízos.

Os benefícios de se obter um sistema que auxilie na tomada de decisão sobre uma rota mínima de entrega, a partir de um ponto de saída específico (a empresa), e que atenda ao máximo de pedidos, é de fundamental importância para a redução do custo logístico de entrega, consequentemente aumentando a lucratividade da empresa e a rapidez de resposta de atendimento ao cliente.

Portanto, pretende-se com este trabalho, estudar as variáveis da empresa e propor a adoção de um modelo de decisão baseado em pesquisa operacional para a definição das rotas de entregas de pedidos.

1.2 Justificativa

A empresa, é considerada de médio porte e encontra-se atualmente como a segunda maior gráfica da Paraíba. Ela atende aos estados da Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Rio Grande do Norte, Ceará e, com pedidos programados, também é possível atender os estados da Bahia, Sergipe, Piauí e Maranhão. Ela também utiliza o modal rodoviário para efetuar suas entregas, frota composta por vãs, caminhões e um utilitário furgão.

Analisando o cenário nacional, vê-se no gráfico a seguir, que os investimentos no ramo gráfico vêm reduzindo com o passar dos anos, elevando a necessidade de inovações na área.

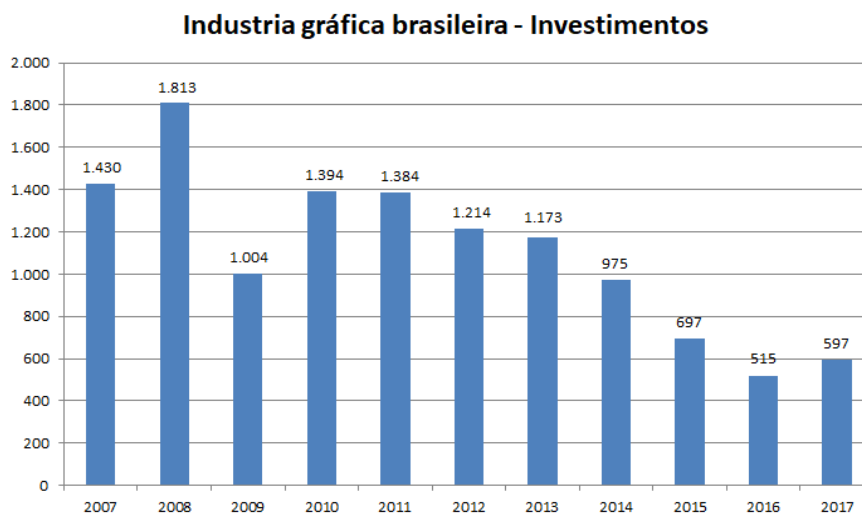


Figura 1: Industria gráfica brasileira – Investimentos em US\$ milhões

Fonte: MDIC. Elaborado pelo autor.

Deve-se, também, destacar o volume de papel transformado, por região, de alguns anos atrás.

Tabela 1: Papel transformado por região (em toneladas)

REGIÃO	2006	2007	2008
Norte	81.914	94.659	94.168
Nordeste	306.555	321.240	344.487
Sudeste	4.234.117	4.410.224	4.631.160
Sul	1.187.843	1.207.079	1.235.761
Centro-Oeste	183.762	190.789	214.631
Total	5.994.191	6.223.991	6.520.224

Fonte: IEMI, 2009. Elaborado pelo autor.

Com isso, verificamos que o Nordeste possui uma participação razoável, sendo a terceira região com maior volume de papel transformado. Contudo, a empresa em questão atua no estado da Paraíba, logo temos:

Tabela 2: Papel transformado por estados do Nordeste (em toneladas)

ESTADO	2006	2007	2008
Maranhão	822	843	1.049
Piauí	1.219	1.253	2.771
Ceará	50.406	54.210	62.307
Rio Grande do Norte	17.045	17.105	17.056
Paraíba	22.523	25.870	27.836
Pernambuco	179.401	185.945	196.471
Alagoas	3.455	3.459	3.429
Sergipe	3.771	3.842	3.862
Bahia	27.912	28.712	29.706
TOTAL Nordeste	306.555	321.240	344.487

Fonte: IEMI, 2009. Elaborado pelo autor.

Logo, a Paraíba encontra-se em quarto lugar quanto ao papel transformado, na região nordestina.

Outro ponto de justificativa é o uso da pesquisa operacional, a qual utiliza modelos matemáticos e algoritmos que auxiliam na tomada de decisões. Nestas soluções estão inclusas simulações, teoria das filas, teorias de decisões, alocação e recursos dentre outras aplicações. Uma de suas principais utilidades é o modelo em rede, que utiliza programação dinâmica com trajetos de rotas mínimas, reduzindo, assim, a distância percorrida entre os pontos.

A pesquisa operacional pode ser útil para auxiliar na tomada de decisões quanto a rotas de entregas, pois na programação linear é possível construir modelos matemáticos de minimização em conjunto com variáveis de restrições. Essa minimização pode estar atrelada a distâncias percorridas, oferecendo suporte ao planejamento das menores rotas a serem seguidas pelos motoristas.

Devido à falta de controle sobre as sequências de entrega para definição das rotas, e da dependência da experiência dos motoristas para selecionar os trajetos a serem seguidos na atividade de entrega dos produtos, aliado às constantes reclamações verbais dos vendedores quanto aos atrasos na entrega, verifica-se a importância de utilizar o ferramental da Pesquisa Operacional, para se desenvolver um modelo matemático que auxilie na tomada de decisões para a definição das

rotas de distribuição, ao invés de depender, exclusivamente, do conhecimento dos motoristas.

Para o curso de Engenharia de Produção Mecânica, aplicar os conceitos da Pesquisa Operacional voltado à logística é de suma importância para uma empresa que desconhece sistemas que tomem decisões sobre processos e tão dependentes de uma cultura ultrapassada.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

Desenvolver um modelo computacional que utilize a Pesquisa Operacional para colaborar na tomada de decisão sobre determinadas rotas possíveis para entrega de produtos de uma quantidade de clientes a serem atendidos.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Analisar a situação atual da empresa quanto à definição de rotas;
- Estruturar um modelo de programação linear adequado ao caso;
- Testar o modelo;
- Desenvolver um modelo computacional que formule os trajetos de forma rápida.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesta sessão serão descritos os principais conceitos teóricos que serviram de base para o desenvolvimento do trabalho, assim como também as definições utilizadas neste estudo. A sessão estará focada nos conceitos de Pesquisa Operacional (PO) e Logística.

2.1 Pesquisa Operacional

Antes de adentrar em assuntos de natureza logística e aplicar o conhecimento algorítmico ao setor, é importante que se tenha conhecimento sobre a metodologia que a PO utiliza para gerar resultados satisfatórios. Longaray (2013, p.1) afirma que:

Formalmente, pesquisa operacional pode ser definida como o conjunto de técnicas que faz uso do método científico para auxiliar as pessoas a tomarem decisões. Entretanto, mais do que uma disciplina acadêmica, lecionada em cursos de graduação e pós-graduação, a pesquisa operacional tem sido amplamente empregada como abordagem gerencial de resolução de problemas nos mais diversos setores da sociedade mundial.

É nítido como essa poderosa ferramenta pode auxiliar na tomada de decisão das empresas quando a mesma entende a capacidade dela e a utiliza da forma correta. Hillier e Lieberman (2013, p.25) ressaltam que “A pesquisa operacional teve impacto impressionante para melhorar a eficiência de inúmeras organizações pelo mundo”.

Moreira (2010, p.3) afirma que a pesquisa operacional:

Lida com problemas de como conduzir e coordenar certas operações em uma organização, e tem sido aplicados a diversas áreas, tais como indústria, transportes, telecomunicações, finanças, saúde, serviços públicos, operações militares etc.

A Pesquisa Operacional baseia-se, principalmente, no método científico para tratar de seus problemas. A observação inicial e a formulação do problema estão entre os mais importantes passos da solução de um problema por Pesquisa Operacional.

Moreira (2010) também acrescenta que, dentro do possível, a pesquisa operacional procura obter a solução ótima de um problema. Para esse ótimo, é importante esclarecer que ele refere-se ao ponto de vista matemático, pois muitas vezes não é possível levar em consideração algumas variáveis, principalmente de cunho comportamental. Uma vez obtida a solução ótima, mesmo que sendo do ponto de vista matemático, sendo necessário uma análise de viabilidade de sua implantação, levando em consideração variáveis que não foram consideradas anteriormente.

Segundo Moreira (2010), é necessário se ter em mente que existem dois grupos de variáveis para se chegar a uma solução. O primeiro grupo refere-se às variáveis controladas por quem está solucionando o problema, chamadas de variáveis de decisão, cujo valor final é resultado da manipulação do modelo. Em segundo lugar temos as variáveis não controladas, que são aquelas definidas pela própria situação do problema, as restrições e/ou característica das organizações estudadas.

Lanchtermacher (2016, p.3) afirma que existem vários fatores que afetam a tomada de decisões:

- Tempo disponível para a tomada de decisão: certas situações, como a decisão de compra ou venda de uma ação, devem ser resolvidas instantaneamente, enquanto outras, como a compra de um apartamento, quase sempre dispõem de um tempo maior.
- A importância da decisão: algumas decisões impactam nossas vidas ou a vida de nossas empresas de formas distintas. Por exemplo, a instalação de uma empresa em um local inapropriado pode causar prejuízos operacionais por diversos anos, enquanto a seleção do fornecedor de material de escritório pode ter um impacto bem menor na operação da empresa. Normalmente, a importância está associada ao custo ou ao prejuízo que a decisão pode ocasionar.
- O ambiente: o local onde a decisão é tomada a afeta. Por exemplo, uma decisão tomada no Japão deve considerar aspectos culturais e sociais japoneses. Já a mesma decisão tomada no Brasil pode ser outra.
- Certeza ou incerteza e risco: o grau de certeza que temos sobre os parâmetros relevantes para uma tomada de decisão nos permite agir de forma mais tranquila. Imagine tomar uma decisão em um período com inflação de 100% ao mês ou 4,5% ao ano, ou ainda a possibilidade de estarmos certos sobre o nível de inflação para o próximo ano. Naturalmente, esse nível de certeza influencia nosso poder de decisão.
- Agentes decisores: o número de agentes que tomam a decisão é um fator fundamental na forma como ela é tomada. Por exemplo, uma tomada de decisão individual depende apenas do ponto de vista de um decisor, isto é, de seu caráter, nível cultural e nível de informação, entre outros. Quando a decisão é tomada em grupos maiores, a diversidade de características cresce exponencialmente, já que, em um mesmo grupo decisor, podemos ter pessoas com formação cultural ou nacionalidade diferentes, isto é, com

maneiras distintas de encarar o mundo, o que, com certeza, leva a um processo de tomada de decisão mais complexa. Além dessas características, uma dimensão é adicionada ao processo: a comunicação entre os agentes decisores se torna uma das principais dimensões de um processo de decisão em grupo. Dependendo de sua clareza e objetividade, ela pode se transformar em um complicador ou em um facilitador do processo.

- Conflito de interesses: algumas decisões afetam, de maneira distinta, certos grupos de uma empresa ou de uma sociedade. Por exemplo, a decisão sobre qual filial de uma empresa deve ser fechada em um programa de redução de custos possivelmente afetará mais determinada parte da empresa que outra, aumentando o nível de complexidade do processo de tomada de decisão.

Encontramos na literatura um padrão semelhante entre as etapas do processo de elaboração de um problema no estudo nesta área. Basicamente, o que temos é um roteiro padronizado. Logo, Lanchtermacher (2016) ressalta que existem 5 etapas consecutivas essenciais para o processo de resolução de um problema, sendo eles:

- 1) Identificação do problema;
- 2) Formulação do modelo;
- 3) Análise dos cenários;
- 4) Interpretação dos resultados;
- 5) Implementação e monitoramento.

Ressaltando que esse processo é cíclico, logo podemos retroceder a níveis anteriores se algum problema for detectado.

Quanto a estrutura, Longaray (2013, p.10) declara que:

O objetivo do modelo é uma função matemática que indica o que se quer alcançar com determinada decisão. As restrições expressam as relações matemáticas existentes entre as variáveis do problema e as limitações identificadas no cenário do processo decisório. Um critério é uma função matemática que mede o desempenho de uma possível ação ou preferência.

Para adentrar a conceitos algorítmicos, devemos entender a importância da programação linear para a engenharia. Segundo Hillier e Lieberman (2013) o desenvolvimento da Programação Linear (PL) tem sido classificado entre os avanços mais importantes do século XX devido ao seu impacto extraordinário. Essa ferramenta poupou milhões de dólares para muitas empresas.

2.2 Programação Linear

Para se entender o conceito e abrangência desta ferramenta, Hillier e Lieberman (2013, p.42) afirmam que:

A programação linear usa um modelo matemático para descrever o problema em questão. O adjetivo linear significa que todas as funções matemáticas nesse modelo são necessariamente funções lineares. A palavra programação, nesse caso, não se refere à programação de computador; ela é, essencialmente, um sinônimo para planejamento. Portanto, a programação linear envolve o planejamento de atividades para obter um resultado ótimo, isto é, um resultado que atinja o melhor objetivo especificado (de acordo com o modelo matemático) entre todas as alternativas viáveis.

Segundo Caixeta-filho (2004), o modelador, para determinado problema, em função de sua experiência vivida com a programação linear, terá maior ou menor facilidade para representação de objetivos, alternativas e restrições, através de equações e inequações.

Caixeta-filho (2004, p11) também afirma que seja qual for o algoritmo, a formulação do problema a ser resolvido pela programação linear segue os seguintes passos básicos:

- a) deve ser definido o objetivo básico do problema - que a princípio deve ser único - com respeito a otimização a ser perseguida. Por exemplo: maximização de lucro, ou de eficiência, ou de bem-estar social; minimização de custos, ou de tempos, ou de perdas, e assim por diante. Tal objetivo será assim representado por uma função objetivo, a ser maximizada ou minimizada;
- b) para que essa função objetivo possa ser matematicamente especificada, as alternativas possíveis para a ocorrência de tal otimização - as chamadas variáveis de decisão envolvidas - deverão ser definidas. Por exemplo, os tipos de cultura e/ou área a serem explorados; [...] as classes de investimento a disposição de um tomador de decisão etc. Normalmente, assume-se que todas essas variáveis possam assumir somente valores positivos;
- c) tais variáveis podem estar sujeitas a uma série de limitações - também conhecidas como restrições do problema -, normalmente representadas por inequações. Por exemplo, limitações referentes à área total disponível.

Loesch e Hein (2008) afirmam que todo problema de PL pode ser definido por um modelo genérico de uma função objetiva junto com um conjunto de restrições, todas lineares, como mostrado a seguir:

Função para maximizar ou minimizar

$$\{\text{Max, Min}\} Z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n \quad (1)$$

Sujeito a

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n \{=, \leq, \geq\} b_1 \quad (2)$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n \{=, \leq, \geq\} b_2$$

...

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n \{=, \leq, \geq\} b_m$$

Sendo

$$x_1, x_2, \dots, x_n \geq 0 \quad (3)$$

No modelo matemático mostrado, deve-se interpretar:

- x_1, x_2, \dots, x_n : É o conjunto de variáveis de decisões do problema;
- c_1, c_2, \dots, c_n : São os coeficientes da função objetivo;
- a_{ij} contidos em (2) são os coeficientes das restrições;
- b_j contidos em (2) são constantes chamadas de lado direito das restrições;
- A representação $\{=, \leq, \geq\}$ significa a presença de uma dessas três relações em cada restrição;
- A função objetivo expressa a meta que se deseja atender. Essa meta ou será de maximização ou de minimização;
- A expressão (3) diz respeito a restrição de não-negatividade das variáveis que constituem o problema.

Em suma, temos:

- (1) Representa a função objetiva;
- (2) Representam as restrições identificadas;
- (3) Representam as restrições de não negatividade.

Hillier e Lieberman (2013) acrescentam que a alocação de recursos é o tipo mais comum a programação linear, porém podemos utilizá-la para inúmeras outras

aplicações. Logo, qualquer problema que se encaixe no modelo genérico de programação linear é um problema de programação linear.

Para o caso estudado específico, o roteamento de veículos, a PO destaca alguns modelos que são diretamente aplicados a este tipo de problemas, que são os problemas de otimização em rede.

2.3 Modelos de Otimização em Rede

Colin (2017, p.118) afirma que:

Modelos de rede são extremamente convenientes, tanto do ponto de vista teórico como computacional. Eles são estruturas simples de entender e possuem propriedades que são modeláveis de maneira relativamente fácil. Além disso, redes podem ser utilizadas para modelar uma infinidade de problemas reais de grande importância. A combinação entre simplicidade e poder de obtenção da solução ótima em problemas reais faz com que as redes sejam um estudo importante da programação matemática.

Contudo, esse tipo de modelo também faz parte da PL, como afirmam Hillier e Lieberman (2013, p.363), “Muitos modelos de otimização de redes, na verdade, são tipos especiais de problemas de programação linear”. Colin (2017, p.118) também esclarece que, “Tipicamente, redes são estudadas como um assunto à parte da programação linear devido à existência de algoritmos mais eficientes para resolver problemas dessa natureza”.

Hillier e Lieberman (2013) informam que uma rede é constituída por um conjunto de traços e pontos que conectam pares de pontos. Aos pontos damos o nome de nós e aos traços de arcos.

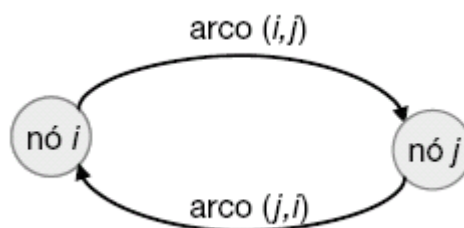


Figura 2: Visualização de nós e arcos de uma rede

Fonte: Colin (2017).

Logo, utilizando esse conceito para definir problemas de caminhos mais curtos devemos entender que em uma situação real temos diversos arcos a serem analisados devido à n quantidade de destinos diferentes. Hillier e Lieberman (2013, p.368), acrescentam que esse tipo de procedimento se espalha em todas as direções a partir do ponto de origem e identifica o caminho mais curto para cada nó em ordem de distancias mais curtas a partir de cada origem.

Para se utilizar o método em questão, devemos entender a maneira que o mesmo emprega. Segundo Hillier e Lieberman (2013, p.368):

Objetivo da n -ésima iteração: encontrar o n -ésimo nó mais próximo da origem (a ser repetido para $n = 1, 2, \dots$ até o n -ésimo nó mais próximo ser o destino).

Entrada para a n -ésima iteração: $n - 1$ nós mais próximos da origem (resolvido nas iterações anteriores), inclusive sua distancia da origem e caminhos mais curtos. (Esses nós, além da origem, serão chamados nós solucionados; os demais serão os nós não solucionados).

Candidatos ao n -ésimo nó mais próximo: cada nó solucionado que é conectado diretamente por uma ligação a um ou mais nós não solucionados fornece um candidato – o nó não solucionado com a ligação de conexão mais curta. (Empates fornecem candidatos adicionais).

Calculo do n -ésimo nó mais próximo: para cada nó assim solucionado e seu candidato, acrescente a distancia entre eles e a distancia do caminho mais curto da origem até esse nó solucionado. O candidato com a menor distancia total é o n -ésimo nó mais próximo (empates fornecem nós solucionados adicionais) e seu caminho mais curto é aquele gerando essa distância.

2.4 O Caixeiro-viajante

Segundo Loesch e Hein (2008) o problema do caixeiro-viajante se assemelha a um representante comercial que se encontra em determinado local e necessita visitar $(n-1)$ clientes em lugares diferentes, visitando todos e sem passar duas vezes pelo mesmo local. Analisando os circuitos possíveis que podem ser colocados em uma árvore e em sua circunstancia mais geral ele também precisa finalizar o circuito no mesmo local, ou seja, $(n - 1)!$. Logo, utilizamos a técnica da heurística para nos apontar as direções geralmente interessantes ao invés da utilização de uma solução ótima, pois se quiséssemos a solução ótima teríamos um problema de explosão combinatória devido ao crescimento fatorial, ou seja, o número de possibilidades a

se verificar seria tão grande a ponto do melhor computador demorar anos para retornar um resultado que utilize 20 localidades diferentes.

A figura a seguir retrata os arcos possíveis a serem seguidos:

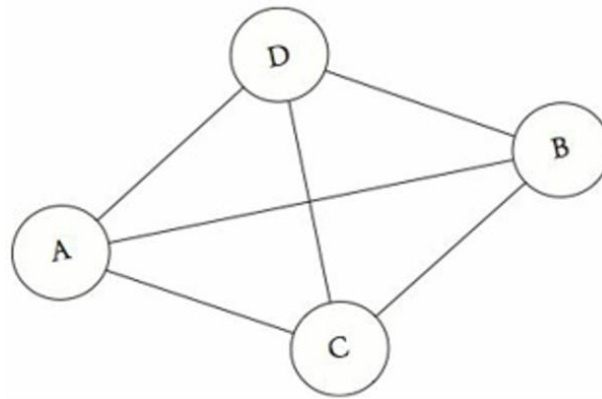


Figura 3: Arcos de um grafo

Fonte: Loesch (2008).

Para a modelagem da programação matemática do caixeiro-viajante, segundo Jamilson (2009), podemos considerar um grafo no qual $G = (Cidades, A)$ onde *Cidades* refere-se ao conjunto de cidades (clientes) e *A* ao conjunto de arcos ligando duas cidades, ou seja, $A = \{(i, j) | i \neq j\}$. Temos, também, que d_{ij} refere-se distância da cidade *i* para a cidade *j*.

(a) As variáveis de decisão são:

d_{ij} : que é uma variável binária que assume o valor 1 se o arco (i, j) for utilizado e 0 caso não o utilize.

f_{ij} : referente a quantidade de fluxo enviada da cidade *i* para a cidade *j*.

(b) A função objetivo:

$$\min \sum_{i \in \text{Cidades}} \sum_{j \in \text{Cidades}} d_{ij} x_{ij}$$

(c) As restrições são:

- À cada cidade k só chega um arco:

$$\sum_{i \in \text{Cidades}} x_{ik} = 1$$

Com $\forall k \in \text{Cidades}$

- De cada cidade k só sai um arco:

$$\sum_{j \in \text{Cidades}} x_{kj} = 1$$

Com $\forall k \in \text{Cidades}$

- Eliminação de subciclos:

$$\sum_{i \in \text{Cidades}} f_{ik} - \sum_{j \in \text{Cidades}} f_{kj} = 1$$

$$i \neq k \quad j \neq k$$

$$\forall k \in \text{Cidades} \mid k \neq 1$$

$$f_{ij} \leq (N - 1)x_{ij}$$

$$\forall i, j \in \text{Cidades}$$

- Restrições de não-negatividade:

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i,j \in \text{Cidades}$$

$$f_{ij} \geq 0 \quad \forall i,j \in \text{Cidades}$$

2.5 Transporte Logístico

Segundo Paoleschi (2011, p.18) “A missão da logística é dispor a mercadoria ou do serviço certo, no lugar certo, no tempo certo e nas condições desejadas, ao mesmo tempo em que fornece a maior contribuição à empresa”.

Paoleschi (2011, p.179) também afirma que, a logística de transporte:

É o deslocamento de bens de um ponto a outro da rede logística, respeitando as restrições de integridade da carga e de confiabilidade de prazos. Não agrega valor aos produtos, mas é fundamental para que eles cheguem ao seu ponto de aplicação, de forma a garantir o melhor desempenho dos investimentos dos diversos agentes econômicos envolvidos no processo.

Nogueira (2012) faz uma comparação entre os principais modais de transportes utilizados em nosso meio: ferroviário, rodoviário, aquaviário, dutoviário e aéreo. Uma de suas conclusões nos mostra que a disponibilidade é a maior vantagem obtida ao utilizar o transporte rodoviário, pois o mesmo se caracteriza com o serviço ponto a ponto (dirigir-se diretamente para os pontos de origem e destino).

Paoleschi (2011) também afirma que no Brasil o modal rodoviário representa 62% da carga transportada. Ele também possui uma maneira simples de funcionamento, cujas vantagens abrangem: entrega ponto a ponto (origem de destino), maior frequência de disponibilidade, é ideal para viagens de distancias medias e curtas, dentre outros. Suas desvantagens abrangem: altos custos dos fretes, menor capacidade de carga e vulnerabilidade a roubo de cargas.

Caxito (2014) também acrescenta que para o modal rodoviário, no Brasil, algumas rodovias apresentam estados de conservação ruins o que eleva o custo de manutenção dos veículos.

Caixeta-Filho e Martins (2002, p.73 e p.74) exibem um modelo de custos de logísticos totais:

Custos logísticos = custo direto de transporte + custo financeiro do estoque em trânsito + custo financeiro do estoque médio no destino e do estoque de segurança.

Onde:

Custo direto de transporte = (custo de transporte unitário) × (volume transportado por ano)

Custo financeiro do estoque em trânsito = (custo por unidade de tempo) × (tempo em trânsito) × (volume transportado).

Caixeta-Filho e Martins (2002) também afirmam que a oferta de serviços de transporte, que viabilizam a atividade econômica, possui variáveis que determinam os custos e o nível do serviço prestado, na qual a primeira é a tecnologia, no qual possui um impacto direto no custo que repercute na capacidade e velocidade da prestação de serviço. A segunda é a estratégia operacional, no qual se trata do comportamento e o objetivo do operador, resultando em uma adoção, ou não, de uma tecnologia mais moderna para a movimentação de cargas. A terceira aborda os requisitos institucionais e restrições, referentes aos limites e requisitos impostos pelos órgãos regulamentadores. E, por fim, o comportamento da demanda, que trata da necessidade de embalagem e a frequência com que se é requisitado que é importante para avaliar sua disposição de investimentos em ativos especializados.

Caxito (2014, p.241) acrescenta que fazem parte do planejamento logístico:

- Adequabilidade. É a possibilidade de resolver o problema considerado em todos os seus aspectos, isto é, de atender as condições de tempo e espaço, quanto à ação, e de quantidade e qualidade, quanto aos meios;
- Exequibilidade. É a capacidade de se fazer realizar de modo real com o emprego dos meios necessários;
- Flexibilidade. É a possibilidade de sofrer ajustes na sua execução e de oferecer soluções alternativas de modo a atender as imprevisibilidades ocorridas no processo;
- Equilíbrio. É a correspondência real entre as necessidades e os meios, considerando-se, ainda, a capacidade e o tempo decorrentes para a transformação da capacidade em meios;
- Integralidade. Decorre da necessidade de que todos os planos logísticos formulados, desde o nível estratégico até o tático, tenham direção comum e compatibilidade, de modo a permitir a uniformidade dos procedimentos e a continuidade das ações de todas as operações de apoio logístico.

Castiglioni (2013) afirma que os custos logísticos são formados por quatro elementos: processamento de pedidos, armazenagem, estocagem e transportes nos quais para os processamentos de pedidos devem levar em conta o ressuprimento (relativo a compras) e as vendas (correspondente aos pedidos dos clientes). Já os custos de armazenagem, devem levar em consideração aluguel do armazém, mão-de-obra dos equipamentos empregados na movimentação das cargas, com suas correspondentes depreciações, dentre outros. Os custos de estocagem referem-se ao somatório de quatro elementos básicos: custos com oportunidade de capital parado, custos com impostos e seguros, custos com riscos de manter estoques e custos com faltas. Por fim, o custo com transportes tem-se a divisão em dois ramos: custos diretos e indiretos. Nos diretos temos: depreciação do veículo, remuneração do capital, salário e gratificação dos motoristas e ajudantes, seguros, combustível, lubrificação, pneus e licenciamento. Nos indiretos temos: processamento da contabilidade, custo ligado ao departamento pessoal, administração, vendas, finanças, cobranças, etc. Outro fator, é que cerca de 85% dos custos são diretos e 15% indiretos.

3 METODOLOGIA

Esta etapa tem por objetivo mostrar a abordagem quanto a sua natureza metodológica. Martins (2008, p.9) afirma que o trabalho de campo “deverá ser precedido por um detalhado planejamento, a partir de ensinamentos advindos do referencial teórico e das características próprias do caso”.

O estudo em questão é de natureza aplicada, pois busca desenvolver um modelo de pesquisa operacional que será implementado na prática em uma empresa real, a gráfica.

Os objetivos foram caracterizados como exploratórios e normativos, pois o intuito é investigar as variáveis que definem as rotas de entregas da gráfica além da busca de como padronizar como o modelo deve ser atendido. A abordagem é quantitativa, pois serão traduzidas em números as informações obtidas no estudo, o que demanda análise matemática. Quanto aos procedimentos escolhidos, temos pesquisas documentais e estudo de caso.

A partir de um problema prático detectado em uma gráfica, foram desenvolvidos modelos utilizados na pesquisa operacional para proporcionar tomadas de decisões quanto às rotas de maneira controlada.

As etapas a serem seguidas para desenvolvimento do estudo estão exibidas a seguir:

- Fase 1: Análise do setor atual da empresa;
- Fase 2: Coleta amostral de rotas utilizadas;
- Fase 3: Definir qual o modelo de programação linear adequado;
- Fase 4: Estruturar o modelo;
- Fase 5: Testar o modelo;
- Fase 6: Desenvolver um software que formule os trajetos;
- Fase 7: Comparar os trajetos realizados com os obtidos pela programação.

3.1 Detalhamento da fase 1: Análise do setor atual da empresa

Na primeira fase do trabalho verificou-se o modo como a empresa desenvolve suas atividades de distribuição de produtos, quais os tipos de veículos utilizados, qual a quantidade média de rotas diárias, quais as quantidades de destinos dentro e fora da cidade (através de amostras) a serem atendidos, quais os princípios utilizados para definir as rotas a serem seguidas e quais os *softwares* computacionais utilizados pelo setor para gerenciar as entregas.

É nesta etapa que é necessário haver uma forte abertura do setor de logística para o desenvolvimento do estudo, pois para que uma análise profunda possua realmente dados confiáveis é necessário não apenas que exista o apoio da gerência e da diretoria, como também o apoio dos colaboradores do setor (área operacional), para que sejam apresentados todos os métodos utilizados pelo setor no atendimento de suas demandas diárias. É fundamental, também, que os funcionários entendam a importância da utilização de um sistema que auxilia na tomada de decisões.

Apenas após apurar tais informações é que se torna possível entender as atividades desenvolvidas pelo setor de logística da empresa e apresentar possíveis melhorias voltadas para atender o mercado consumidor. O acesso aos dados quantitativos também é de suma importância, já que através deles é que é possível se obter informações precisas na análise.

3.2 Detalhamento da fase 2: Coleta amostral de rotas utilizadas

Esta fase ocorre em paralelo à primeira, pois ao mesmo tempo em que se entende como são desenvolvidas as atividades no setor de logística, é que é possível ter conhecimento do método de funcionamento dos SIGs utilizados pela empresa, que auxiliam na organização das rotas. A partir desta análise se torna possível coletar as rotas reais de entregas, o que evidencia porque determinados percursos foram seguidos pelos motoristas e as dificuldades enfrentadas por eles.

Esta é a etapa de se examinar cada rota coletada em uma amostra e analisar ponto a ponto para se extrair o máximo de conhecimento sobre a forma utilizada

para atender as demandas diárias de distribuição dos produtos transportados pelo setor de logística.

3.3 Detalhamento da fase 3: Definir o modelo de programação linear adequado

A determinação do modelo de programação mais adequado deverá ser elaborado de acordo com as necessidades descobertas na fase de estudo sobre o setor, pois os modelos de PL se adequam às situações de acordo com as variáveis do problema e sua forma de relacionamento.

É nesta etapa que deverá ser utilizado todo o conhecimento teórico adquirido sobre pesquisa operacional para a formulação de um modelo que utilize dados quantitativos para gerar rotas ótimas.

3.4 Detalhamento da fase 4: Estruturar o modelo

É nesta etapa que se deve analisar as alternativas de decisões existentes, fazer o reconhecimento das limitações, analisar as exigências do sistema e elaborar as restrições. Para a proposta elaborada, deverá ser analisado se o modelo já é conhecido ou exige relações matemáticas complexas.

3.5 Detalhamento da fase 5: Testar o modelo

O objetivo da quinta fase é encontrar uma solução para a formulação matemática. Esta solução toma como base técnicas matemáticas existentes, geralmente, tendo sempre em mente que um modelo só é válido se o mesmo for capaz de fornecer uma precisão aceitável do que se pede.

Para testar as soluções ótimas, será utilizada a biblioteca UFFLP desenvolvida pelo professor Artur Alves Pessoa da Universidade Federal

Fluminense (UFF). O mesmo pode ser utilizado em conjunto com linguagens de programação bastante conhecidas como C/C++ e Visual Basic for Applications (VBA). O minicurso foi escrito por Pessoa e Uchoa (2011).

A UFFLP é uma biblioteca de funções para auxílio na resolução de problemas de Pesquisa Operacional que pode ser integrada as linguagens de programação.

Para o calculo das distancias automáticas das rotas, utilizaremos um API do Google Maps baseado no artigo escrito por Kramer, Subramanian e Penna (2015).

3.6 Detalhamento da fase 6: Desenvolver um software que formule os trajetos

Como a linguagem VBA está disponível dentro de planilhas do Microsoft Excel, sendo essa ferramenta utilizada em abundância nas empresas, o desenvolvimento do software deverá utilizar o Excel. O mesmo deverá ter uma interface agradável aos usuários e utilizar a formulação matemática da pesquisa operacional de forma rápida para os colaboradores do setor.

3.7 Detalhamento da fase 7: Comparar os trajetos realizados com os obtidos pela programação

O objetivo desta parte é comparar as rotas obtidas nas amostras com as simulações feitas no *software* desenvolvido para ter em mente se as rotas já utilizadas são próximas do considerado ideal, bem como a comparação entre suas distancias.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Fase 1: Análise do setor atual da empresa

Nesta etapa fez-se o levantamento da situação atual do setor de logística para se obter conhecimento do método de trabalho utilizado pela empresa. Esta é a fase, na qual foram levantadas todas as dificuldades enfrentadas pelo setor de logística para o atendimento das demandas. É também a etapa mais demorada, pois exige a análise de diversas situações que ocorrem em dias diferentes.

A empresa estudada é capaz de realizar entregas em quase todo o Nordeste, possuindo sua frota própria composta por 11 veículos, sendo:

- 7 vans: utilizadas para entregas dentro e fora da cidade, com prioridade para cargas menores. A carga máxima é de 1800 kg;
- 2 caminhões: utilizados para entregas dentro e fora da cidade, com prioridade para as maiores cargas. As cargas máximas são de 2,4 e 4 toneladas;
- 1 utilitário furgão: geralmente utilizadas para pequenas entregas dentro da cidade. A carga máxima é de 800 kg.
- 1 moto: utilizada apenas para compras de materiais simples requisitadas, em sua quase totalidade, pelo setor de compras.

Os veículos podem ser abastecidos com materiais a qualquer hora do dia, dependendo do trajeto de entrega. Deve-se considerar, também, que a grande maioria dos clientes recebem apenas os materiais em horário comercial, logo, o setor precisa estar preparado para atender a tais demandas.

O setor de logística possui 9 motoristas, 1 aprendiz, 1 assistente de logística e 1 supervisor. Este último é o responsável por distribuir as rotas de acordo com a demanda exigida pelo PCP.

A empresa utiliza um SIG desenvolvido internamente que auxilia na alocação das informações e um segundo desenvolvido pela empresa Calcgraf chamado internamente de G-Print. O SIG interno funciona através de dados inseridos pelo PCP, no qual as informações iniciais são coletadas do banco de dados do G-Print,

através dos processos de apontamentos inseridos pelos colaboradores em cada etapa do processo produtivo, ou seja, etapas em que se é agregado valor ao produto. Logo, é possível visualizar a informação sobre a etapa em que se encontra o produto e quando o mesmo estiver concluído e embalado, pronto para ser entregue.

A programação das rotas é feita durante as atividades de produção do produto. Porém, caso ocorra algum tipo de atraso em uma etapa, o supervisor de logística entra em contato com o vendedor para tentar negociar a alteração da data de entrega combinada. Caso não haja sucesso na negociação e se tenha a necessidade do veículo sair para a entrega dos demais produtos, é requisitado o auxílio da entrega através de uma empresa terceirizada (que pode variar de acordo com a necessidade) para a entrega do produto que, geralmente, ainda ocorre com atraso.

Existem ainda outros dois casos. O primeiro trata-se de dar um desconto ao cliente no preço do produto pelo atraso ocorrido. E, por fim, não efetuar a entrega e ter o prejuízo total da ordem de produção (OP) em questão. Um exemplo seria um evento ocorrido em determinado dia, no qual o material não teria utilidade após o término do evento. Este é considerado o pior cenário.

Os motivos dos atrasos na chegada dos materiais ao setor de logística são diversos, porém abaixo serão listados os mais frequentes:

- Quebra de máquina em determinada etapa produtiva, levando o material a exceder o tempo de conclusão. Nesta etapa, em alguns casos, pode-se haver a mudança de máquina para a produção em outra, porém o setor de PCP deverá analisar o *feedback* do setor de manutenção quanto ao tempo de conserto e analisar se vale a troca de máquina levando em consideração que quase todos os materiais produzidos requisitam de um novo *setup*, por se tratar de materiais específicos para cada cliente;
- Dificuldade de determinado colaborador em produzir um tipo específico de material. Em alguns casos, pode-se haver a troca de colaborador, quando há um mais experiente disponível;

- Atraso em materiais relacionados ao setor de acabamento manual, atividade no qual não possui apontamento nem conhecimento específico do tempo de produção de determinados tipos de materiais. O que se é feito nesses casos é uma estimativa, que nem sempre se aproxima do real.

Outro problema evidenciado frequentemente é necessidade de entregar o material a um terceirizado local, situação chamada de despacho, pois em alguns casos o custo de transporte a uma determinada cidade, geralmente vizinha, é alto em relação às estimativas iniciais de custo. O despacho também é utilizado dentro de uma cidade (em alguns casos, entregues a taxistas) para entrega de determinada quantidade em um ou mais locais.

A tela de visualização dos pedidos de entrega utilizados diariamente pelos colaboradores do setor está exibida abaixo:

CÓDIGO DA VIAGEM	ROTA	VEÍCULO	MOTORISTA	DATA DA VIAGEM	PREVISÃO DE SAÍDA	OPÇÕES
8581	RIO G. DO NORTE INTERIOR	QSD 7808	TERCEIRIZADO	04/10/2018	07:30:00	[Ícone de edição] [Ícone de alerta] [Ícone de relógio] [Ícone de impressão] [Ícone de checkmark] [Ícone de lixeira]
8586	CABEDELO	TERCEIRO	EDELSON TARGINO	04/10/2018	09:45:00	[Ícone de edição] [Ícone de alerta] [Ícone de relógio] [Ícone de impressão] [Ícone de checkmark] [Ícone de lixeira]
8580	BAHIA	QFE-4826	TERCEIRIZADO	04/10/2018	12:00:00	[Ícone de edição] [Ícone de alerta] [Ícone de relógio] [Ícone de impressão] [Ícone de checkmark] [Ícone de lixeira]

Figura 4: Tela de controle de rotas

Fonte: SIG interno da empresa.

Como se pode ver, a tela principal possui 4 abas: ABERTAS, TRÂNSITO, CONCLUÍDA e FINALIZADA.

- A aba ABERTAS refere-se aos pedidos que estão aguardando liberação para entrega, logo, está sujeito a alterações;
- A aba TRÂNSITO, com o próprio nome propõe, refere-se aos pedidos já liberados, no qual é dado como concluída apenas em seu retorno, quando é inserida a hora de chegada;

- A aba CONCLUÍDA refere-se às entregas já efetuadas. As amostras coletadas para o item a seguir serão todas retiradas desta área, pois o trajeto completo já poderá ser analisado;
- A aba FINALIZADA diz respeito à entrega quando o motorista faz prestações de contas, porém, os mesmos não estão utilizando com frequência. Logo, não se pode tomar a mesma como base para análise.

Para análise dos trajetos efetuados nas cidades específicas, foram coletados os dados entre Março e Setembro de 2018. Os resultados apontam que houve 1.261 entregas cadastradas, das quais 547 tiveram seu destino dentro de João Pessoa (43%) e 714 (57%) tiveram seu destino fora da cidade, tais como: Bayeux, Cabedelo, Recife, Campina Grande, Alagoas, Bahia, Natal, dentre outras. Outra informação calculada foi que o número médio de viagens cadastradas é de 5,9 por dia.

Quanto ao rateio dos custos dos transportes utilizados para as entregas, não foi possível obter informações mais profundas devido à confidencialidade de algumas informações contidas no sistema G-Print. Porém, o gerente de produção acredita que tal rateio é feito considerando apenas o custo do combustível que, no caso em questão, é o óleo diesel (com exceção do utilitário furgão e da moto). Logo, não são considerada depreciação dos veículos, tributos, salários, encargos, dentre outros no rateio dos custos de transporte.

4.2 Fase 2: Coleta amostral de rotas utilizadas

A empresa utiliza veículos rastreados através do *software* Palm Line. Através do acesso ao software foi possível coletar algumas amostras de rotas realizadas. Para diversificar os tipos de trajetos, foram selecionados rotas com destino dentro e fora do estado da Paraíba e com situações diversas que os colaboradores do setor enfrentam diariamente.

É importante ressaltar que não será revelado nome ou localização geográfica (latitude e longitude) de nenhum cliente, pois não é o objetivo deste trabalho.

O Palm Line envia o ponto no qual o veículo se encontra a cada 5 minutos. Logo, nesse tempo, o veículo, dependendo da velocidade, pode se deslocar grandes distâncias. Em vários casos não é possível ter conhecimento das ruas que o motorista utilizou para se deslocar de um ponto ao outro. Nestes casos, para se ter conhecimento da distância total percorrida, será utilizado o Google Maps em sua opção de rota mais curta.

Em suma, foram coletadas 5 rotas que serão inseridas aqui com o objetivo de entender melhor o sistema de entrega e suas dificuldades.

4.2.1 Trajetória 1

O primeiro trajeto coletado tem como destino a cidade de Campina Grande e a origem, a fábrica, localizada na cidade de João Pessoa. Para melhor entendimento, as imagens serão inseridas.

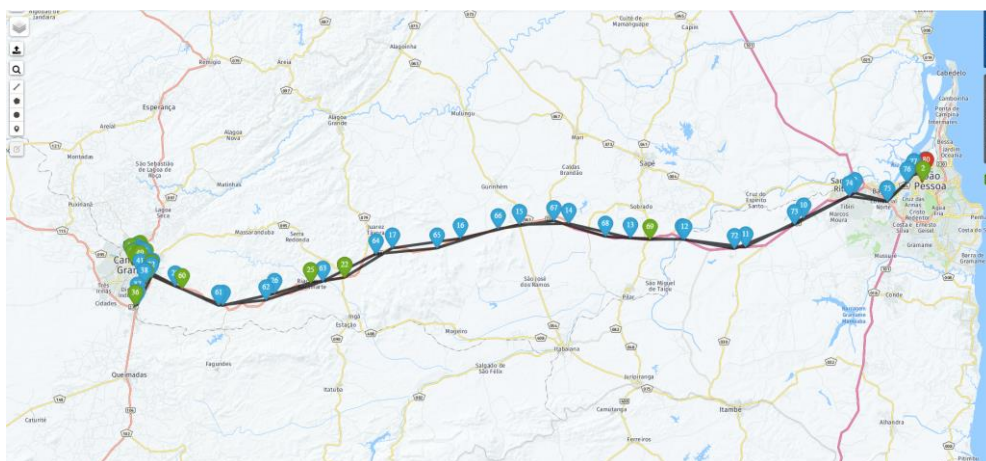


Figura 5: visão geral da trajetória 1
Fonte: Software da empresa (Palm Line)

Para este caso, o ponto de partida é apenas um, logo se faz necessário a análise apenas da cidade de destino. Para tanto, a figura seguinte exhibe a sequência com maiores detalhes, deixando claro que para este caso o ponto 1 não se refere a origem, mas sim ao primeiro ponto de entrega. A entrega foi efetuada por uma das vans.

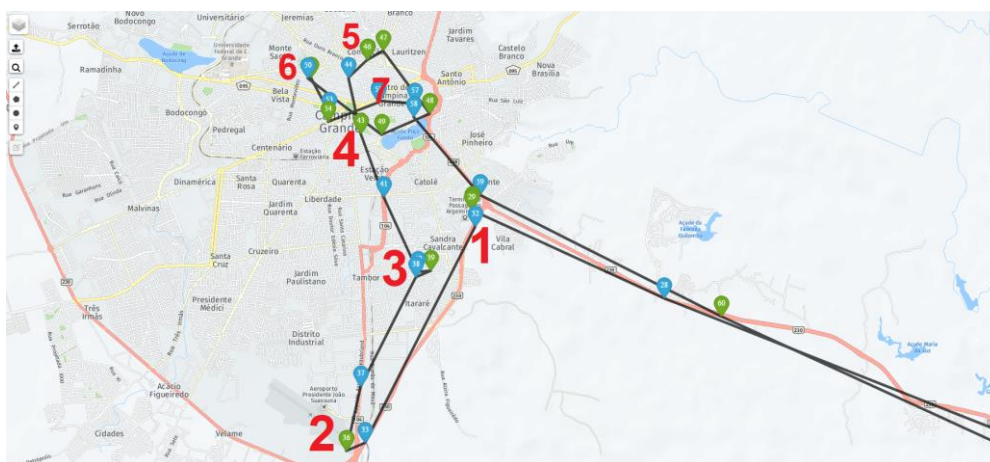


Figura 6: visão concentrada da trajetória 1

Fonte: Software da empresa (Palm Line)

Para o trajeto em questão houve uma distância percorrida de, aproximadamente, 278,1 km. Porém, independente da sequência de análise, o trajeto deverá ter, obrigatoriamente, a ida de João Pessoa até Campina Grande, logo ao analisarmos apenas o percorrido dentro da cidade de Campina Grande temos 30,1 km.

Outro ponto importante é que a entrega efetuada no destino 1 foi um despacho para um terceiro com destino a Caruaru. Como a tiragem era pequena, o custo para se deslocar 130 km até a cidade destino seria relativamente alto. Logo o setor de Logística considerou mais viável realizar o despacho.

4.2.2 Trajetória 2

Para esta situação, tem-se um caso onde houve entrega apenas dentro da cidade de João Pessoa, efetuado por uma das vans. O trajeto em questão se trata de uma situação na qual ocorre com pequena frequência, segundo os próprios colaboradores do setor. A tentativa de entrega no ponto 5 foi efetuada após a entrega do ponto 3, porém o responsável pela entrega não se encontrava no local no

momento, sendo necessário efetuar a entrega no ponto 4 para não haver esperas. A distancia entre o ponto 3 e o ponto 5 é extremamente curta, de 650 metros.

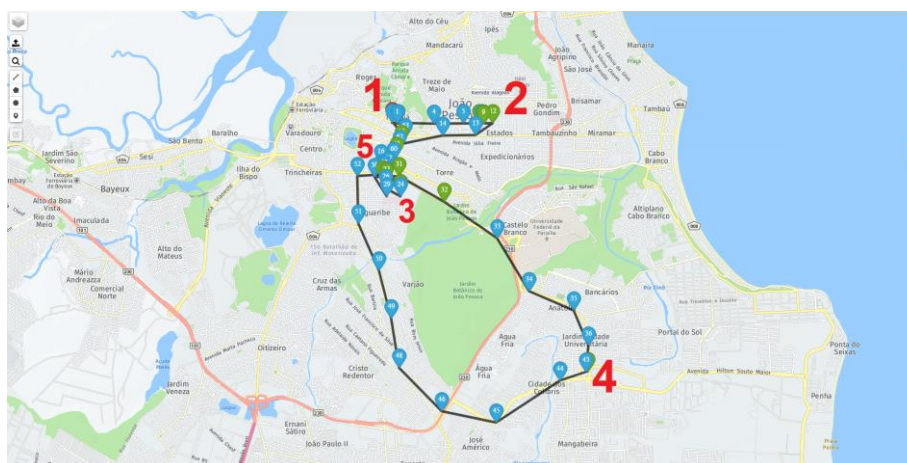


Figura 7: visão geral da trajetória 2

Fonte: Software da empresa (Palm Line)

Logo, a entrega foi efetuada percorrendo uma distancia total de aproximadamente 24 km.

4.2.3 Trajetória 3

Nesta situação tem-se 7 pontos de entregas diferentes, novamente realizado por uma das vans. Uma situação mais complexa dentro da própria cidade. Neste caso não houve despacho em nenhum dos serviços a serem entregues.

O trajeto em questão teve uma distância total percorrida de aproximadamente 39,3 km. A imagem a seguir mostra a rota percorrida:

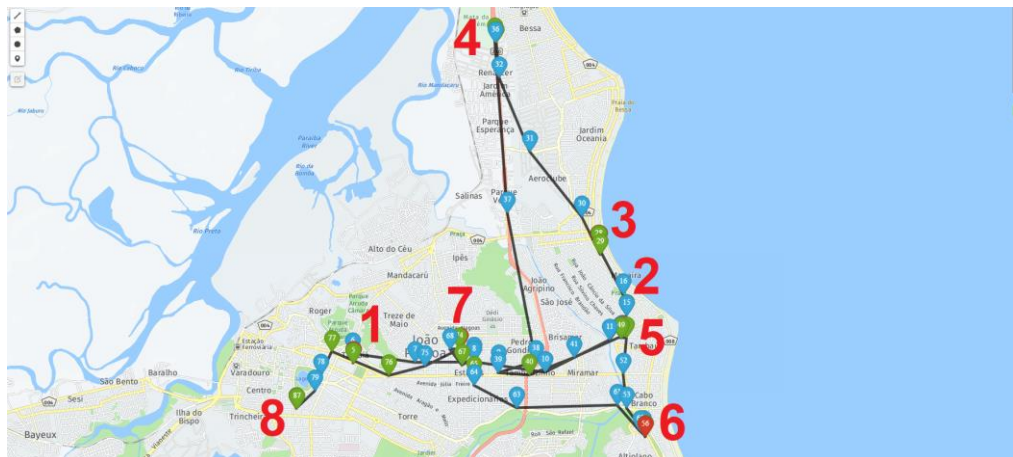


Figura 8: visão geral da trajetória 3

Fonte: Software da empresa (Palm Line)

4.2.4 Trajetória 4

Novamente temos um caso de entrega por uma das vans tendo como destino a cidade de Recife. Para este caso, houve dois despaches.



Figura 9: visão geral da trajetória 4

Fonte: Software da empresa (Palm Line)

Para melhor entendimento, a visualização da rota foi dividida em 2 partes. A imagem com visão geral nos mostra o ponto 1 (origem), outros pontos (que englobam do 2 até o 10) e o ponto 11, local de despacho para o estado da Bahia. O ponto 9 refere-se ao outro despacho com destino sendo Cabo de Santo Agostinho –

PE. Os demais pontos, mostrados na imagem anterior como **outros pontos**, estão exibidos a seguir:

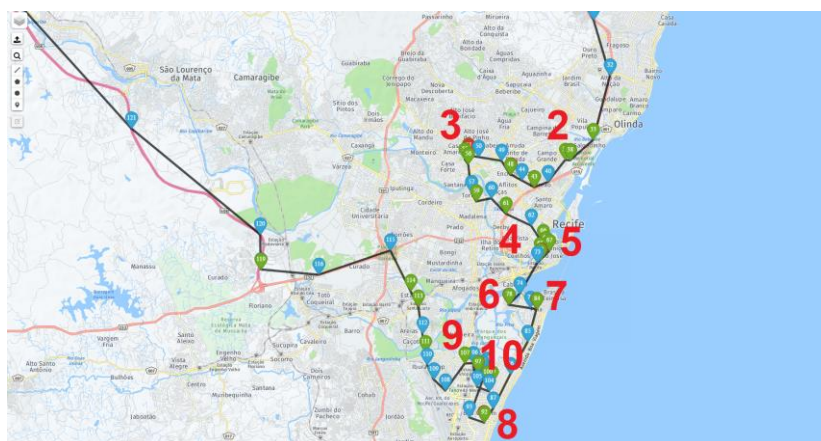


Figura 10: visão concentrada da trajetória 4

Fonte: Software da empresa (Palm Line)

O trajeto 4 teve um total de 313,5 km de distância percorrida.

4.2.5 Trajetória 5

O trajeto em questão foi efetuado por um dos caminhões. O mesmo foi efetuado em 58,3 km. O trajeto efetuado se encontra na imagem a seguir:

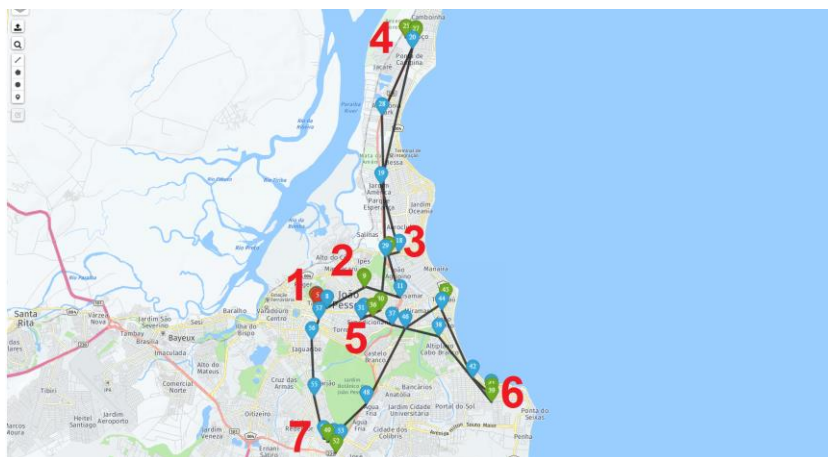


Figura 11: visão geral da trajetória 5

Fonte: Software da empresa (Palm Line)

É válido lembrar que as rotas efetuadas pelo utilitário furgão geralmente são pequenas quando comparadas ao restante dos veículos. Pela análise feita das rotas, possui uma média aproximada de 3 clientes por entrega, devido a sua menor capacidade.

4.3 Fase 3: Definir o modelo de programação linear adequado

Para a definição do modelo de programação linear adequado, deverá ser analisado o tipo de situação para o qual queremos obter um resultado satisfatório. Para um caso em questão, é necessário construir um modelo de minimização contendo certa quantidade de variáveis de origens e destinos em posições variantes no qual o trajeto, obrigatoriamente, seja percorrido por todos os pontos apenas uma vez e retorne a sua origem. Essa origem, logo, deverá ser a empresa que possui sede única.

Outro fator a ser considerado no modelo é que não haja subciclos, ou seja, duas rotas separadas ambas com origens e destinos diferentes. Para o caso em questão, devemos obter resultados no qual todos os pontos sejam atendidos e só retorne a origem (única) após passar por todos os pontos.

Diante da problemática abordada, podemos verificar que o modelo que se enquadra nesta necessidade é o modelo do caixeiro-viajante, que faz parte da programação linear.

4.4 Fase 4: Estruturar o modelo

Para a estruturação do modelo de programação linear, foi necessário usar as restrições e conceitos abordados no item anterior. Logo, a modelagem matemática consiste no seguinte:

Dados:

C_{ij} Distância de i até j .

N : Número de clientes;

i : Origem;

j : Destino.

Variáveis de Decisão:

$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{se visita } j \in N \text{ após } i \in N; \\ 0, & \text{caso contrário;} \end{cases}$

f_{ij} = Fluxo de $i \in N$ para $j \in N$.

Modelo:

$$\min \sum_{i \in N} \sum_{\substack{j \in N \\ i \neq j}} C_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

Restrições:

$$\sum_{\substack{j \in N \\ i \neq j}} x_{ij} = 1 \quad \forall j \in N \quad (2)$$

$$\sum_{\substack{i \in N \\ i \neq j}} x_{ij} = 1 \quad \forall i \in N \quad (3)$$

$$\sum_{i \in N} f_{ik} - \sum_{j \in N} f_{kj} = 1$$

$$i \neq k \quad j \neq k \quad \forall k \in N \quad (4)$$

$$f_{ij} \leq (N - 1)x_{ij} \quad \forall i, j \in N \quad (5)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i, j \in N \quad (6)$$

$$f_{ij} \geq 0 \quad \forall i, j \in N \quad (7)$$

A Função Objetivo (1) minimiza a soma das distancias percorridas, apresentando as menores rotas e tendo a variável x como a responsável pela escolha ou não da rota para o problema.

A restrição (2) tem por objetivo assegurar que uma única origem i visite o destino j . Analogamente, a restrição (3) tem por objetivo assegurar que um único destino j tenha sua origem em i .

A restrição (4) tem o objetivo de garantir que o fluxo de entrada subtraído do fluxo de saída seja igual a 1, ou seja, garantir que todos os clientes sejam atendidos. A restrição (5) complementa a (4) de forma a garantir que o fluxo seja menor ou igual ao número de locais de entrega subtraído de 1, pois o fluxo de entrega para o próprio local de origem não é o objetivo do trabalho. Logo, essas restrições também impedem que o sistema crie ou retorne como resultado subciclos.

4.5 Fase 5: Testar o modelo

Para testar o modelo, foi utilizada a biblioteca UFFLP em conjunto com o VBA do Excel. Para a inserção de dados, foi utilizada uma rota aleatória no qual foram obtidas suas latitudes e longitudes a partir do Google Maps.

Para o cálculo das distancias entre os pontos, foi utilizado o API do Google Maps, no qual exige apenas que sejam inseridas as latitudes e longitudes dos endereços em seu arquivo XML (Extensible Markup Language) para que seja efetuado o cálculo entre todos os pontos, gerando como retorno a matriz das distâncias, em metros. Tais distâncias foram inseridas no Excel. O código que fez conexão com o UFFLP está descrito no Anexo A – Código VBA para roteamento.

Os resultados obtidos foram satisfatórios e dentro da realidade imposta. Outro fator é que foram gerados de forma rápida, porém, com os testes seguintes, quanto mais complexas as rotas, maior o tempo de resposta exigido pelo modelo. Uma rota acima de 20 pontos gerava um tempo de quase o triplo de rotas menores para se obter um resultado. Porém, no caso da empresa em questão, não foram encontrados rotas acima de 17 endereços no SIG interno da empresa.

4.6 Fase 6: Desenvolver um *software* que formule os trajetos

Como o UFFLP é associado ao VBA do Excel, sendo esta ferramenta utilizada constantemente em toda a empresa. Logo, para não haver custos extras relacionados ao *software*, ele foi desenvolvido no próprio Excel® e utilizando o mesmo código do Anexo A – Código VBA para roteamento.

Para tanto, foi necessário obter uma interface agradável e de fácil utilização para suprir a necessidade das demandas diárias dos colaboradores do setor. Para tal exemplo, foram utilizados 10 destinos selecionados aleatoriamente e uma origem. O *software* funciona da forma ilustrada a seguir:

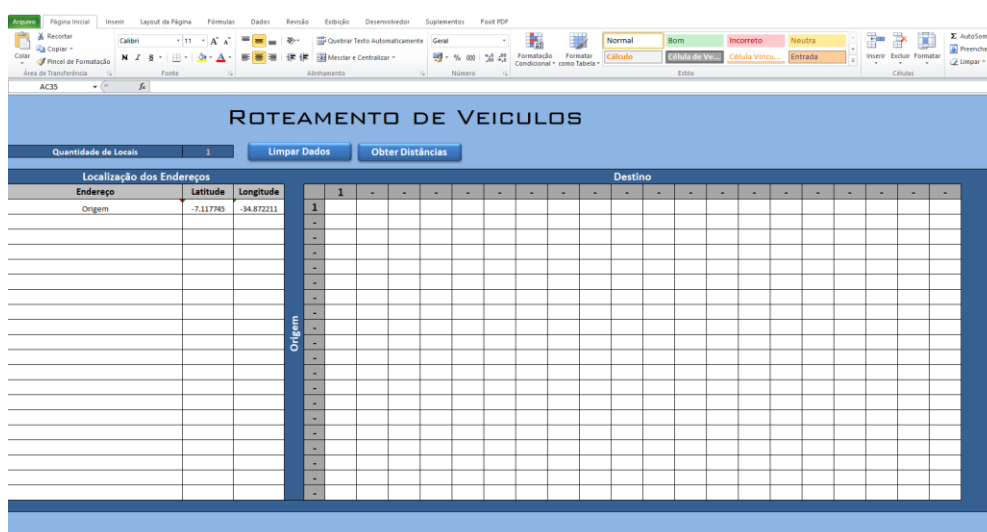


Figura 12: Interface inicial do software

Fonte: Software desenvolvido pelo autor (2018)

Com a tela inicial aberta, torna-se necessário apenas inserir os destinos com suas latitudes e longitudes obtidas pelo Google Maps.

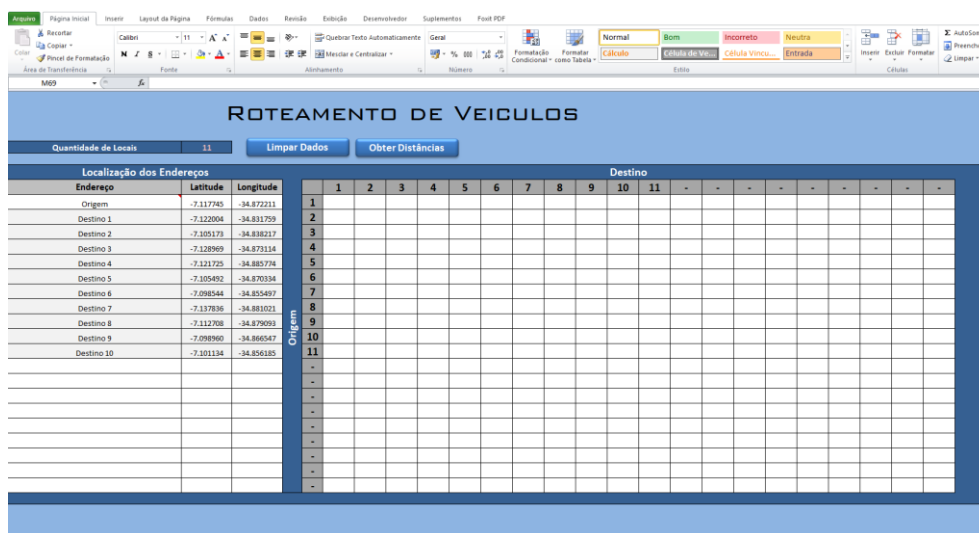
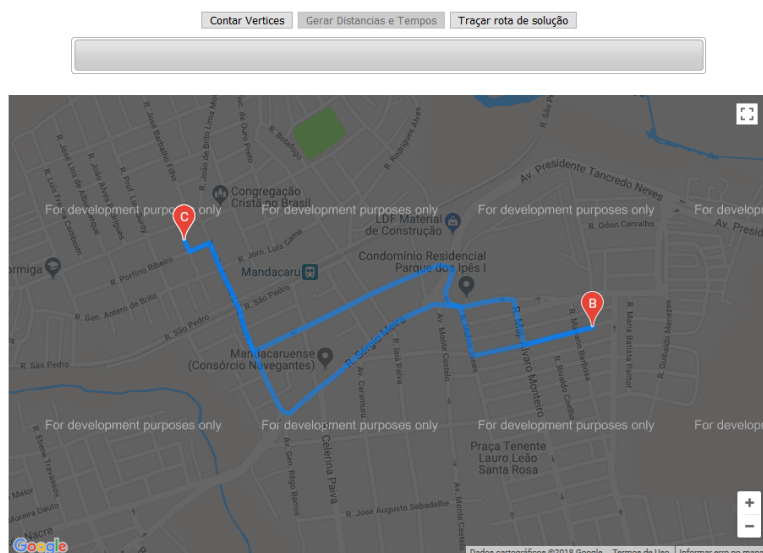


Figura 13: Interface com as latitudes e longitudes dos destinos inseridos

Fonte: Software desenvolvido pelo autor (2018)

Após isso, será necessário clicar em Obter Distâncias. Quando isso acontecer, o mesmo abrirá automaticamente o API do Google Maps desenvolvido em HTML, com seus arquivos XML já configurados com as rotas informadas. Na página aberta, o botão Gerar Distancias e Tempos deverá ser clicado. Alguns segundos são necessários. O tempo de cálculo do resultado irá variar de acordo com as quantidade de rotas inseridas. Contudo, não ultrapassa 30 segundos.



Matrix de Distancias

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	5692	5957	2608	2567	2037	3716	3317	1145	3000	3206
6275	0	4088	6086	8611	5954	5596	8001	7420	6918	5107
5891	3216	0	9160	8826	5322	3081	8605	7036	4694	3548
1632	7271	10349	0	3228	3669	5348	1879	2777	4632	4838
2627	8570	7814	2300	0	4575	5573	2313	1929	4857	5063
2225	5995	4841	3874	3699	0	2600	4583	2210	1884	2090
4656	6415	2557	9024	6378	2874	0	10939	4641	2246	707
3942	9177	12255	2538	3824	4881	6560	0	3875	5844	6050
1554	6380	6386	2844	2772	2193	4145	3386	0	3429	3635
3266	8309	4451	4915	4988	1484	2210	5624	3251	0	1700
4098	6790	2932	9399	5798	2294	615	6812	4061	1666	0

Figura 14: Cálculo automático das distancias no API

Fonte: API do Google (2018)

As distâncias geradas na matriz deverão ser copiadas e inseridas novamente no software do Excel.

Com as distâncias inseridas na área adequada, deverá ser clicado no botão Obter Resultados e aguardar o cálculo das rotas. Novamente, esta é uma operação rápida, algo em torno de 5 segundos. Esta, também, é a etapa no qual o código do Anexo A é acionado.

ROTEAMENTO DE VEICULOS

Quantidade de Locais: 11 Limpar Dados Obter Distâncias Obter Resultado Visualizar Resultado

Localização dos Endereços			Destino										
Endereço	Latitude	Longitude	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Origem	-7.117745	-34.872211	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Destino 1	-7.122004	-34.831759	2	1	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Destino 2	-7.105173	-34.838217	3	2	1	4	5	6	7	8	9	10	11
Destino 3	-7.128969	-34.873114	4	2	3	1	5	6	7	8	9	10	11
Destino 4	-7.121725	-34.865774	5	2	3	4	1	6	7	8	9	10	11
Destino 5	-7.105492	-34.879334	6	2	3	4	5	1	7	8	9	10	11
Destino 6	-7.098044	-34.825497	7	2	3	4	5	6	1	8	9	10	11
Destino 7	-7.137836	-34.881021	8	2	3	4	5	6	7	1	9	10	11
Destino 8	-7.112708	-34.879093	9	2	3	4	5	6	7	8	1	10	11
Destino 9	-7.098960	-34.866547	10	2	3	4	5	6	7	8	9	1	11
Destino 10	-7.101134	-34.856185	11	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1

Figura 15: Software com as distancias entre os pontos inseridas

Fonte: Software desenvolvido pelo autor (2018)

Quando obtido o resultado, ele poderá ser exibido de forma sequencial um pouco abaixo da tela principal.

RESULTADO DO ROTEAMENTO

Distância: 27.281 metros
Gasto: R\$ 10,49

Consumo/Km: 9,000 Km/L
Valor Gasolina: R\$ 9,46 L

Origem	Destino
1	6
2	4
3	2
4	8
5	9
6	10
7	3
8	5
9	1
10	11
11	7

Sequência da Rota
Resultado Final

1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª	7ª	8ª	9ª	10ª	11ª	12ª	13ª	14ª	15ª	16ª	17ª	18ª	19ª	20ª
1	6	10	11	7	3	2	4	8	5	9	1								

Figura 16: Forma alternativa de visualizar os resultados

Fonte: Software desenvolvido pelo autor (2018)

A opção acima exibe o resultado em forma de sequência numérica, o que não é o ideal para ser visualizado pelo usuário. Porém, é nesta área que poderá ser informado o consumo do veículo e o valor do combustível, para o mesmo fazer o

cálculo do consumo médio. Para visualização do usuário, a imagem abaixo mostra a sequência com os nomes das ruas, juntamente com seu consumo. Para visualizar isto, deverá ser clicado em Visualizar Resultado.

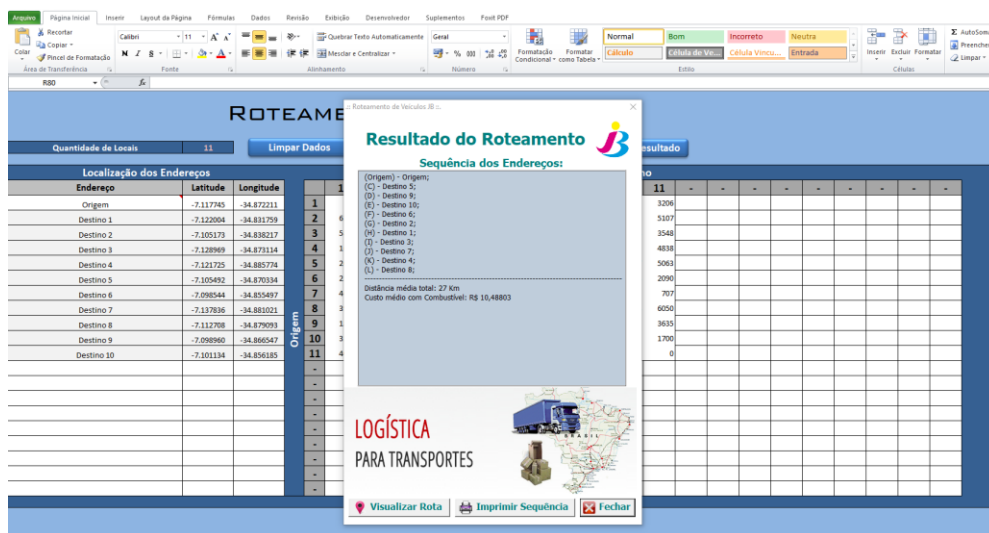


Figura 17: Imagem com a sequência a ser seguida

Fonte: Software desenvolvido pelo autor (2018)

Como se pode ver, na tela acima é possível imprimir a sequência, que será enviada automaticamente para a impressora configurada ao computador, e poderá ser visualizada a rota completa no API do Google. Ao clicar neste botão, a tela é aberta automaticamente, com os arquivos XML já configurados que será utilizado para visualizar as rotas.



Figura 18: Imagem com o resultado da sequência a ser seguida no mapa

Fonte: API do Google (2018)

Quando a tela acima é aberta, deverá apenas ser clicado em Traçar rota de solução. Como mostrado, as letras associadas à sequência é a mesma da figura 17, para facilitar o entendimento e a associação da sequência.

Como exibido nas etapas anteriores, é possível analisar que os botões do *software* no Excel irão se tornando visíveis à medida que a sequência de etapas é atendida. Este método foi inserido para evitar que usuário pule alguma etapa.

O *software* mostra resultados de rotas mínimas em alguns segundos de manipulação, considerando que o usuário já tenha cadastrado as latitudes e longitudes.

4.7 Fase 7: Comparar os trajetos realizados com os obtidos pela programação

Esta etapa tem por objetivo comparar os trajetos exibidos na etapa de coleta de amostras para se obter uma ideia de dos benefícios da utilização do software em relação aos percursos utilizados.

4.7.1 Comparação com o trajeto 1

Como já mencionado, o trajeto em questão foi realizado com aproximadamente 278,1 km onde a parte compreendida dentro da cidade de Campina Grande foi de aproximadamente 30,1 km. Neste caso, não se faz necessário mostrar a visão geral (trajeto total) desde João Pessoa até o destino, apenas dentro da cidade o que nos dá uma visão necessária da análise.

De acordo com a simulação realizada, temos a seguinte proposta de rota mínima:

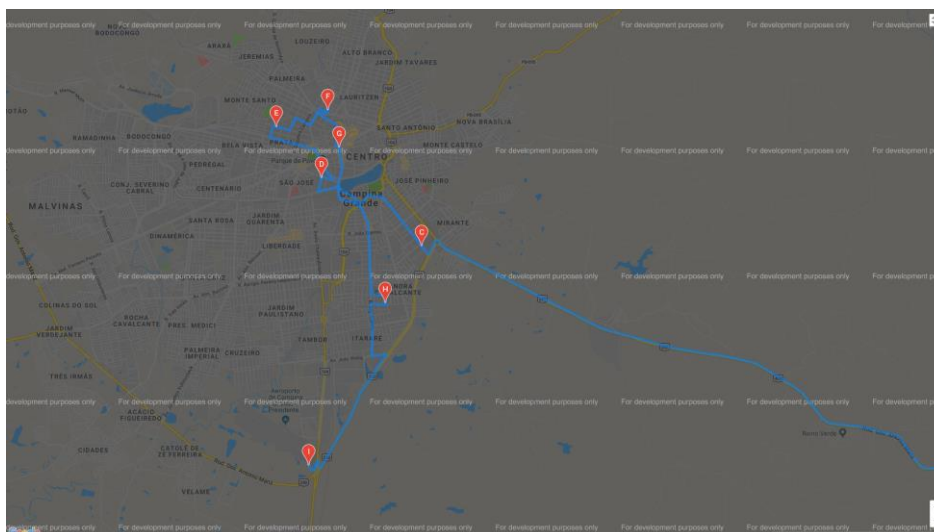


Figura 19: Visão concentrada da rota mínima 1

Fonte: API do Google (2018)

De acordo com o resultado da rota mínima, temos a distância total de 272 km (redução de 2%) e dentro da cidade de Campina Grande temos 24 km (redução de 20%).

4.7.2 Comparação com o trajeto 2

Para o trajeto em questão, tínhamos uma distância real percorrida de 24 km, porém o resultado obtido pela rota mínima é de 23 km (redução de 4% da distância). Percebe-se aqui que para pequenas distâncias dentro da cidade a experiência do motorista quanto às rotas é de grande valia.

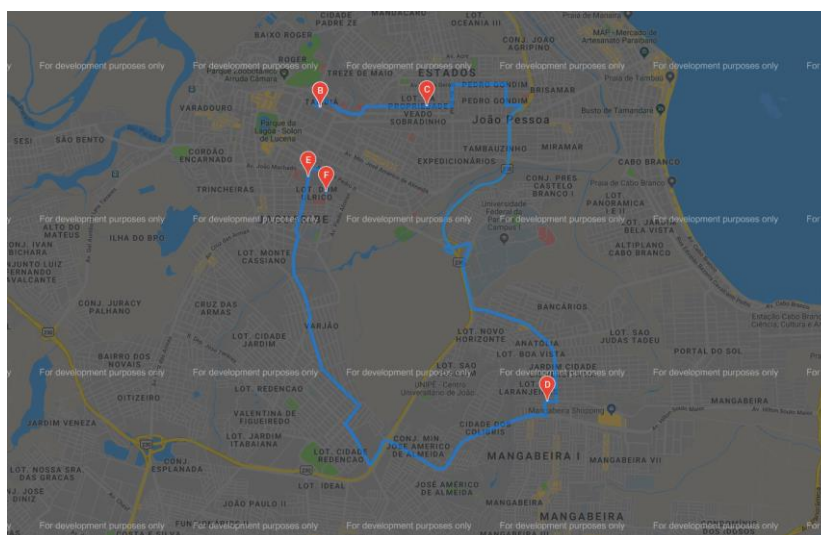
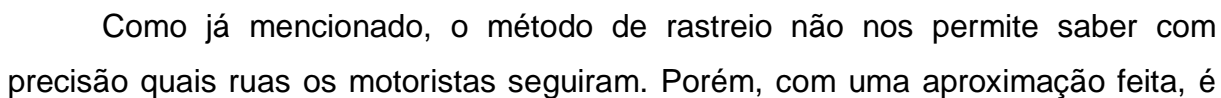


Figura 20: Visão geral da rota mínima 2

Fonte: API do Google (2018)

4.7.3 Comparação com o trajeto 3

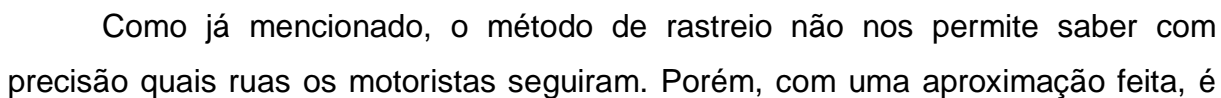
Para o trajeto em questão, a rota real percorrida foi aproximadamente 39,3 km e a distância exibida como rota mínima é de 32 km, reduzindo em 19% a distância percorrida. A seguir temos a imagem da rota:



Fonte: API do Google (2018)

Como já mencionado, o método de rastreamento não nos permite saber com precisão quais ruas os motoristas seguiram. Porém, com uma aproximação feita, é

O caso a seguir mostra como a experiência do motorista e o conhecimento da cidade é de fundamental importância para a empresa.



Fonte: API do Google (2018)

Como já mencionado, o método de rastreamento não nos permite saber com precisão quais ruas os motoristas seguiram. Porém, com uma aproximação feita, é

possível obter informações próximas do real. Quase toda a rota foi executada de acordo com a simulação do que seria o ideal (rota mínima), com uma exceção H e I (ou, no Palm Line 9 e 10). Porém, para este caso, temos uma distância que podemos considerar insignificante, em relação ao total, que seria, aproximadamente, 1,2 km.

4.7.5 Comparação com o trajeto 5

O trajeto ótimo obtido como resultado de uma distância percorrida de 56 km, em comparação com a distância real de 58,3 km. Apesar da diferença de trajeto, o caminho escolhido pelo motorista também obteve uma distância que se aproxima bastante da mínima. Logo, a diferença de trajeto é de 4%.

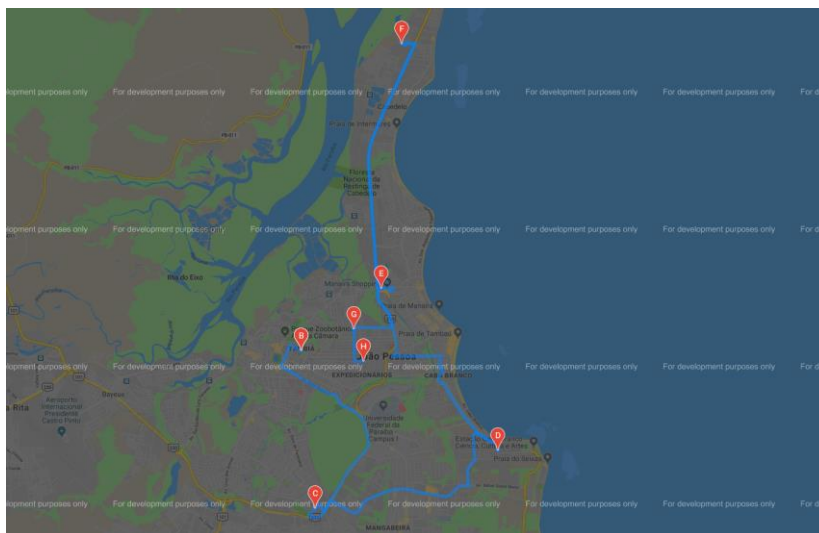


Figura 23: Visão geral da rota mínima 5

Fonte: API do Google (2018)

O *software* se torna de maior utilidade para o maior número de destinos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo desenvolveu uma ferramenta de roteamento de veículos capaz de oferecer suporte na hora de planejar as rotas para o setor de logística de uma gráfica e de informar as rotas mínimas entre todos os pontos de entrega de clientes.

Para tanto, foi-se necessário realizar uma revisão bibliográfica de assuntos relacionados à pesquisa operacional. Formulou-se um modelo de programação linear, utilizando como base o modelo do caixeiro-viajante, cuja resolução se aproxima do requisitado pelo setor em suas demandas diárias.

Por haver grande interação com a empresa, houve liberdade e o suporte necessário para se obter informações cruciais quanto ao método utilizado pela empresa no setor em questão.

É importante ressaltar, que as restrições foram elaboradas não apenas com os colaboradores do setor, mas também com o gerente de produção da empresa. O analista do setor e o gerente aderiram a ideia de forma positiva.

Com o *software* funcionando, o próximo passo é inserir a necessidade de sua utilização na cultura do setor. Outro fator é a tentativa de unir, futuramente, o *software* ao SIG interno da empresa.

As limitações encontradas foram a dificuldade em conversar diretamente com os motoristas, já que grande parte têm apenas o contato com a empresa na hora do carregamento do veículo.

Espera-se que esse *software* seja de grande auxílio aos colaboradores e reduza as distâncias entre as rotas, satisfazendo os clientes e reduzindo custos com combustível e desgastes das peças dos veículos.

O *software* mostrou resultados bastante satisfatórios para rotas maiores que 5 pontos diferentes e dentro da cidade. Outro fator, que não pode ser deixado de citar, é que a experiência dos motoristas é de fundamental importância. Logo, o *software* deve ser utilizado junto ao conhecimento deles.

Para trabalhos futuros, sugere-se maior interação com os motoristas para se obter informações complementares, pois a opinião deles é a mais importante na hora de definir as variáveis de decisão. Outra sugestão, seria a melhoria do processo setor produtivo para oferecer um melhor apoio ao setor logístico.

6 REFERENCIAL TEÓRICO

CAIXETA-FILHO, José Vicente. **Pesquisa operacional: técnicas de otimização aplicadas a sistemas agroindustriais**, 2ª edição. Atlas, 2004.

CAIXETA-FILHO, José Vicente, MARTINS, Ricardo Silveira, (Org.). **Gestão Logística do Transporte de Cargas**. Atlas, 2002.

CASTIGLIONI, José Antonio Mattos. **Logística Operacional - Guia Prático**, 3rd edição. Érica, 2013.

CAXITO, Fabiano. **Logística - um enfoque prático** - 2ª Edição, 2nd edição. Saraiva, 2014.

COLIN, Emerson C. **Pesquisa Operacional** - 170 Aplicações em Estratégia, Finanças, Logística, Produção, Marketing e Vendas, 2ª edição. Atlas, 2017.

HILLIER, Frederick S., LIEBERMAN, Gerald J. **Introdução à Pesquisa Operacional**. AMGH, 2013.

JAMILSON, Marcone. **Otimização Combinatória**. Disponível em:

<<http://www.decom.ufop.br/marcone/Disciplinas/OtimizacaoCombinatoria/OtimizacaoCombinatoria.pdf>>. Acesso em: 01 set. 2018.

KRAMER, Raphael Harry Frederico Ribeiro; SUBRAMANIAN, Anand; PENNA, Puca Huachi Vaz. Problema de roteamento de veículos assimétrico com frota heterogênea limitada: um estudo de caso em uma indústria de bebidas. **Gestão & Produção**, [s.l.], v. 23, n. 1, p.165-176, 4 set. 2015. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0104-530x1442-14>.

LACHTERMACHER, Gerson. **Pesquisa Operacional na tomada de decisões**, 5ª edição. LTC, 2016.

LOESCH, Cláudio, HEIN, Neslon. **Pesquisa Operacional** - fundamentos e modelos. Saraiva, 2008.

LONGARAY, André Andrade. **Introdução à Pesquisa Operacional**. Saraiva, 2013.

MARTINS, Gilberto Andrade. **Estudo de Caso: Uma Estratégia de Pesquisa**, 2ª edição. Atlas, 2008.

Moreira, Daniel A. **Pesquisa Operacional: Curso Introdutório**, 2nd edição. Cengage Learning Editores, 2010.

NOGUEIRA, Amarildo Souza. **Logística empresarial**: uma visão local com pensamento globalizado. Atlas, 2012.

PAOLESCHI, Bruno. **Logística Industrial Integrada** - Do Planejamento, Produção, Custo e Qualidade à Satisfação do Cliente, 3rd edição. Érica, 2011.

PESSOA, Artur; UCHOA, Eduardo. **UFFLP: Integrando Programação Inteira Mista e Planilhas de Cálculo**. Disponível em: <http://www.gapso.com.br/wp-content/uploads/2013/03/Minicurso_UFFLP_SBPO_2011.pdf>. Acesso em: 26 set. 2018.

7 ANEXO A – CÓDIGO VBA PARA ROTEMANETO

Option Explicit

Sub Botão2_Clique()

Dim N As Long ' Quantidade de Clientes + Origem

N = Plan_Dados.Cells(3, 2).value

'Criando a matriz e alocando os valores

Dim distancias() As Long

ReDim distancias(N, N) As Long

Dim i, j As Integer

For i = 1 To N

For j = 1 To N

distancias(i, j) = Plan_Dados.Cells(i + 6, j + 5).value

Next

Next

Dim problema As Long

problema = UFFLP_CreateProblem(UFFLP_Minimize) 'O problema foi criado na variável PROBLEMA. Se problema = 1 então o mesmo foi criado, se zero não foi criado.

Dim erro As Long

```

'----- FUNÇÃO PRINCIPAL -----'

Dim variable As String

    For i = 1 To N
        For j = 1 To N

            If i <> j Then 'Retirando da matriz as distancias até o mesmo ponto, por
exemplo: de 2 para 2, de 3 para 3...

                variable = "x_" & i & "_" & j
                erro = UFFLP_AddVariable_(problema, variable, 0, 1, distancias(i, j),
UFFLP_Binary) 'Criação das variáveis e jogando no arquivo.lp

            End If

        Next

    Next

'----- Acrescentando a variável para rerir os subciclos -----'

Dim variavel As String
    For i = 1 To N
        For j = 1 To N
            If i <> j Then
                variavel = "f_" & i & "_" & j
                erro = UFFLP_AddVariable_(problema, variavel, 0, N, 0,
UFFLP_Continuous)
            End If
        Next
    Next

'----- RESTRIÇÃO 1 - GARANTINDO APENAS UM DESTINO -----'

Dim constraint As String

    For j = 1 To N

```

```
constraint = "Destino_" & j
```

```
For i = 1 To N
```

If i <> j Then 'Retirando da matriz as distancias até o mesmo ponto, por exemplo: de 2 para 2, de 3 para 3...

```
variable = "x_" & i & "_" & j
```

```
erro = UFFLP_SetCoefficient_(problema, constraint, variable, 1) 'Adicionando  
as variáveis
```

```
End If
```

```
Next
```

```
erro = UFFLP_AddConstraint_(problema, constraint, 1, UFFLP_Equal) '  
Adicionando a igualdade = 1
```

```
Next
```

```
'----- RESTRIÇÃO 2 - GARANTINDO APENAS UMA ORIGEM -----'
```

```
For i = 1 To N
```

```
constraint = "Origem_" & i
```

```
For j = 1 To N
```

If i <> j Then 'Retirando da matriz as distancias até o mesmo ponto, por exemplo: de 2 para 2, de 3 para 3...

```
variable = "x_" & i & "_" & j
```

```
erro = UFFLP_SetCoefficient_(problema, constraint, variable, 1) 'Adicionando  
as variáveis
```

```
End If
```

```
Next
```

```

        erro = UFFLP_AddConstraint_(problema, constraint, 1, UFFLP_Equal) '
Adicionando a igualdade = 1
Next

```

'----- RESTRIÇÃO 3 - RETIRANDO SUBCICLOS -----'

```

Dim k As Long
For k = 2 To N
    constraint = "Sem_Subciclos_" & k
    For i = 1 To N
        If k <> i Then
            variable = "f_" & i & "_" & k
            erro = UFFLP_SetCoefficient_(problema, constraint, variable, 1)
        End If
    Next
    For j = 1 To N
        If k <> j Then
            variable = "f_" & k & "_" & j
            erro = UFFLP_SetCoefficient_(problema, constraint, variable, -1)
        End If
    Next
    erro = UFFLP_AddConstraint_(problema, constraint, 1, UFFLP_Equal)
Next

```

Dim restricao As String

```

For i = 1 To N
    For j = 1 To N
        If i <> j Then

            restricao = "Capacidade_" & i & "_" & j
            variable = "f_" & i & "_" & j
            erro = UFFLP_SetCoefficient_(problema, restricao, variable, 1)
            variable = "x_" & i & "_" & j

```



```

    erro = UFFLP_SetCoefficient_(problema, restricao, variable, 1 - N)
    erro = UFFLP_AddConstraint_(problema, restricao, 0, UFFLP_Less)

    End If
Next
Next

'-----'

Dim status As Long
status = UFFLP_Solve(problema)

If status = UFFLP_Optimal Then

    MsgBox "Rota gerada com Sucesso!", vbInformation, " Concluido"

    Dim valor As Double

    erro = UFFLP_GetObjValue_(problema, valor)

    Plan_Dados.Cells(36, 3).value = valor

    For i = 1 To N

        Plan_Dados.Cells(38 + i, 2).value = i

        For j = 1 To N

            variable = "x_" & i & "_" & j
            erro = UFFLP_GetSolution_(problema, variable, valor)

            If valor > 0.7 Then
                Plan_Dados.Cells(38 + i, 3).value = j
            End If
        Next j
    Next i

```

Next

Next

'----- CÓDIGO PARA SEQUENCIAR AS ROTAS -----'

Dim passo As Integer

erro = UFFLP_GetObjValue_(problema, valor)

passo = 0

i = 1

passo = passo + 1

Plan_Dados.Cells(61, passo + 5).value = i

passo = passo + 1

While passo <= N + 1

For j = 1 To N

variable = "x_" & i & "_" & j

erro = UFFLP_GetSolution_(problema, variable, valor)

If valor > 0.7 Then

Plan_Dados.Cells(61, passo + 5).value = j

passo = passo + 1

i = j

End If

If passo = N + 2 Then

j = N + 1

End If

Next

Wend

'----- COMANDO para erros de programação -----'

Else

If UFFLP_Infeasible Then

MsgBox "Solução Inviável"

```
Else
    MsgBox "Erro desconhecido"
End If
End If
'-----'

UFFLP_DestroyProblem (problema)

End Sub
```